

# T Pyxidid - eine rekurrente Nova im Ausbruch - Teil 1

## Literatur bis zum Ausbruch

Hans G. Diederich

**Abstract:** *Statt wie vorausberechnet erst im Jahr 2225 (oder später), sondern bereits am 14. April 2011 ereignete sich ein Ausbruch der rekurrenten Nova T Pyx. Sie gehört einer Untergruppe an, die nur zwei Mitglieder umfasst und ist ihr Prototyp. Das Studium dieses Veränderlichen ist wichtig für das Verständnis der Akkretion in engen Sternsystemen und für die Frage, ob rekurrente Novae die Vorläufer von Supernovae des Typs Ia sind. Der Aufsatz stützt sich auf Arbeiten der Fachastronomie, ergänzt um Amateurbearbeitungen.*

### Einleitung

Als Anfänger interessierte ich mich nicht für Sterne und Veränderliche, wollte stattdessen Planeten und sofort danach Nebel und Galaxien sehen. Dann ereignete sich ein Novaausbruch, und dieser wurde visuell bis zur Verabschiedung in die Unsichtbarkeit beobachtet. Das war etwas: eine Explosion auf einem Stern.

Mit der ersten CCD-Kamera wurden Novae von da an länger verfolgt. Es entstanden Aufnahmen im Ausbruch und viele "Nachherbilder" in den Folgejahren. Zuletzt konnten in richtig tiefen Aufnahmen auch die "Vorgängersterne" im Ruhelicht sichtbar gemacht werden. Es gab also auch ein Leben nach dem Novaausbruch. Faszinierend!

Und dann lernte ich die sich wiederholenden Novaeausbrüche kennen, Sterne welche im Abstand vieler Jahre und Jahrzehnte immer wieder, fast regelmäßig, ihren ureigenen Novaausbruch erleben und uns daran teilhaben lassen. Das war toll und öffnete mir die Tür zur Astrophysik der Sterne und zur Sternentwicklung. Auf einmal war ich bei den "Veränderlichen" angekommen.

Die Klasse der "rekurrenten Novae" ist ein exklusiver Klub. Besonders eine Untergruppe, welche aus nur zwei Veränderlichen besteht (äußerst seltene Objekte also), hatte es mir angetan. Die beiden Mitglieder der rekurrenten Novae vom T-Pyx-Typ ergänzten alsbald die Liste in meinem dedizierten Sammeldokumentation, obwohl noch kein einziges System dieses Typs von mir beobachtet worden war. Ich wartete ...

Damit war ich aber nicht alleine, denn viele Sternfreunde, ihre Organisationen und die Fachastronomie warteten ebenfalls auf den vorhergesagten neuerlichen Ausbruch des Namensgebers dieser Minigruppe, auf T Pyxidid (T Pyx). Am 14.04.11 war es dann endlich soweit. Und nun stand fest, die Beobachtung von T Pyx im Ausbruch war das Spitzenprojekt im Astro-Urlaub zwei Monate später in Namibia, kostete es was es wollte.

### Organisation

Das nächste Kapitel widmet sich den Meldungen und der Literatur über T Pyx bis zu dessen Ausbruch in 2011. Danach berichte ich über eigene Beobachtungen und

deren Auswertung. Es schließt sich ein Blick in die Literatur nach dem Ausbruch an. Ein wichtiges Kapitel führt danach alle bisherigen Erkenntnisse zu T Pyx in einem "konsistenten Bild" zusammen, welches einer der Arbeiten entnommen ist. Der Aufsatz wird mit einem Kapitel mit Daten abgeschlossen, welche Josch Hamsch zur Verfügung stellte.

### **Eine prototypische rekurrente Nova mit einer geheimnisvollen Novaschale**

Für T Pyx wird in der "AAVSO Special Notice #231" v. 01.02.2011 eine Helligkeit im Ruhezustand ("quiescence") von 15 mag angegeben. Die Koordinaten sind J2000, RA = 09h04m41.35s, DEC = -32 22' 47".

[4] stellt T Pyx als prototypische rekurrente Nova mit einer geheimnisvollen Novaschale ("nova shell") vor. Die Autoren berichten über neue Beobachtungen dieser Schale mit dem HST. Die Knoten in dieser Schale breiten sich mit einer Geschwindigkeit von 500 bis 715 km/s (Entfernung von 3.500 pc unterstellt). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Knoten ist konstant. Das spricht gegen eine Abbremsung.

Die Knoten wurden während eines Ausbruchs nahe dem Jahr 1866 ausgestoßen. Sie tauchten nach 1995 ("turned on") auf. Dies zeigt, dass die Knoten ihre Energie durch Stoßwellen beim Zusammenstoß der Auswurfmassen des Ausbruchs von 1866 mit Ausstoßmassen von späteren rekurrenten Novaausbrüchen erhielten.

Die Auswurfmassen von 1866 besitzen eine Masse von  $10^{-4,5}$  Msun und zeigen eine niedrige Ausstoßgeschwindigkeit. Dies spricht gegen einen rekurrenten Novaausbruch. Das Ereignis von 1866 war also ein normaler Novaausbruch. Die Akkretionsrate vor diesem Ausbruch hatte mit ca.  $4 \times 10^{-11}$  Msun/Jahr einen sehr niedrigen Wert. Über ~750.000 Jahre häufte sich so langsam Material auf der Oberfläche des Weißen Zwergs an.

Die augenblickliche Akkretionsrate ( $>10^{-8}$  Msun/Jahr) ist 1.000 mal höher, als bei einem System unterhalb der Periodenlücke ("period gap") erwartet wird. Eine plausible Erklärung für dieses Verhalten ist, dass der Ausbruch von 1866 eine "anhaltende überweiche Quelle" ("continuing supersoft source") in Gang setzte, welche die Akkretion vorantreibt. Die Akkretionsrate von T Pyx nahm nun (vor dem Ausbruch von 1890) über mehrere Jahre hinweg langfristig ab, bis sie zuletzt nur noch 3% des früheren Wertes betrug.

Die beobachtete Abnahme der Akkretionsrate zeigt, dass die "supersoft source" sich nicht selbst erhält. Die Berechnung der Autoren lässt ein Ende der Akkretion in den nächsten Dekaden erwarten.

T Pyx wird danach eine Art von "Winterschlaf" ("hibernation") mit geschätzter Dauer von 2,6 Millionen Jahren beginnen, bevor der Energieverlust durch Aussenden von Gravitationswellen beide Komponenten des Systems wieder in Kontakt zu einander bringt.

Somit durchläuft T Pyx einen Zyklus, in dem sich das System von einem Zustand als normaler kataklysmischer Veränderlicher (CV) über den augenblicklichen als

rekurrente Nova zum zukünftigen Ruhezustand entwickelt, um danach diesen Zyklus erneut zu durchlaufen.

### **Systemparameter**

Die Autoren von [3] liefern eine erste spektroskopische Bestätigung der Umlaufperiode von T Pyx. Die Periodendauer beträgt 1,829 Stunden. T Pyx ist eine leuchtkräftige "rekurrente" Nova, deren Akkretionsrate erheblich größer ist, als aus dieser Umlaufperiode von ~1,8 Stunden abgeleitet werden kann. Sie leiten zudem einen oberen Grenzwert der Geschwindigkeits-Halbamplitude des Weißen Zwergs ab ( $K1 = 17,9 \text{ km/s} \pm 1,6 \text{ km/s}$ ) und schätzen das Massenverhältnis der Komponenten zu  $q = 0,20 (\pm 0,03)$ .

Ausgehend von einer Massenabschätzung für den Geberstern ("donor star") gelangen sie unter Nutzung der Perioden-Dichte-Beziehung und der theoretischen Masse-Radius-Beziehung für Hauptreihensterne für einen leicht aufgeblähten Geberstern zu einer Masse von  $M2 = 0,14 \text{ Msun} (\pm 0,03 \text{ Msun})$ . Die Masse der Primärkomponente ergibt sich dann zu  $M1 = 0,7 \text{ Msun} (\pm 0,2 \text{ Msun})$ .

Falls die Masse des Weißen Zwergs größer als 1 Msun ist (wie es Modelle klassischer Novae nahelegen), müsste die Masse des Gebersterns ebenfalls größer sein. Die Autoren schließen daher die Möglichkeit aus, dass sich T Pyx jenseits der Periodenlücke der CV entwickelt hat.

Die Inklination des Systems wird auf  $\sim 10^\circ$  eingeschränkt und bestätigt die Erwartung, dass T Pyx ein System mit niedriger Inklination sein müsse. Die Arbeit endet mit einer Diskussion von Folgerungen für den physikalischen Entwicklungsweg von T Pyx.

Es wird gezeigt, dass sich insbesondere die Epochen verstärkten Massentransfers (eine solche wird im Augenblick beobachtet) beschleunigen und sogar Einfluss auf die Entwicklung des Systems nehmen könnten. Dies gelte selbst dann, wenn es sich um relativ kurze Erscheinungen handeln sollte. Diese Beobachtungen und Vermutungen könnten auch für die allgemeine Entwicklung von CV Bedeutung erlangen.

### **Frühere Ausbrüche**

Mit der Einleitung von [1] gelangen wir zu einer Arbeit, die mit 33 Seiten Text nicht nur sehr ausführlich ist, sondern sich auch als bedeutsam für das Verständnis von T Pyx erweisen wird.

T Pyx war die erste rekurrende Nova (RN) mit drei bekannten Ausbrüchen. Dieser Zustand hielt ungefähr ein Dutzend Jahre an, ehe bei einer anderen RN erstmals ein zweiter Ausbruch beobachtet werden konnte.

T Pyx wird zu den "vollkommenen" RN ("quintessential RN") gezählt mit ihren 6 Ausbrüchen in 1890, 1902, 1920, 1944, 1967 und jetzt 2011. Während der letzten Dekaden hielt sich die Helligkeit im Ruhezustand bei  $V = 15.5 \text{ mag}$  auf, erreichte in den Ausbrüchen aber Werte bis zu  $V = 6.4 \text{ mag}$ . Sie ist aber auch eine langsame RN.

Die Anstiegszeit beträgt 40 Tage, und für einen Abfall von 3 mag nach Erreichen der Spitzenhelligkeit benötigt sie 62 Tage.

T Pyx ist eine von zwei RN mit einer Umlaufperiode von  $P = 0.076$  Tagen. Dieser Wert liegt innerhalb oder unterhalb der Periodenlücke. Sie ist zudem die einzige RN, welche über eine Novaschale ("nova shell") verfügt. Diese besteht aus tausenden einzelner Knoten und weist eine erstaunlich niedrige Ausdehnungsgeschwindigkeit auf. Die Ausbreitung der individuellen Fragmente zeigt, dass diese keiner wesentlichen Abbremsung unterliegen. Aus den mit dem HST über einen Zeitraum von 13 Jahren abgeleiteten Positionen ließ sich ableiten, dass der Ausstoß dieser Schale im Jahr 1866 ( $\pm 5$  Jahre) mit 500 bis 715 km/s erfolgte.

Diese Geschwindigkeit ist bei weitem zu gering, um von einem RN-Ereignis ("recurrent nova event") herzuführen. Auch die Masse der Schale von  $\sim 10^{4.5}$  Msun ist erheblich größer, als es bei einem RN-Ereignis jemals der Fall sein könnte. Damit steht fest, dass es sich bei dem Ereignis von 1866 um einen normalen "klassischen" Nova-Ausbruch handeln muss, der auf eine voran gegangenen, sehr langen Ruhephase folgte.

Ein Schlüssel zur Aufdeckung der Natur von T Pyx) ist die Beobachtung, dass die Ruhehelligkeit nicht konstant ist, sondern von 1890 bis 2011 einem langfristigen Trend der Abnahme folgt. Archivaufnahmen lassen erkennen, dass vor dem Ausbruch von 1890 das Ruhelicht konstant blieb ( $B = 13.8$  mag) und T Pyx in den darauf folgenden Zeiträumen zwischen den Ausbrüchen B-Helligkeiten von 14.38, 14.74, 14.88 und 14.72 mag zeigte. Nach dem Ausbruch von 1967 sank die Helligkeit von 15.3 mag (um 1968) auf 15.5 mag und schwächer ab. Diese Tendenz der langfristigen Helligkeitsabnahme ist grundlegend für das Verständnis der Entwicklung und das zukünftige Schicksal von T Pyx, und natürlich auch für die Vorhersage der Zeiten zukünftiger Ausbrüche.

### **Ein verwirrendes System**

Über längere Zeit war T Pyx ein verwirrendes System, da es keinen Weg gab, eine kurze Umlaufperiode mit einer hohen Akkretionsrate in einem System zu vereinen. Die Akkretionsrate muss hoch sein ( $\sim 10^{-7}$  Msun/Jahr) um ausreichend Masse zum Zünden eines Ausbruchs mit einer typischen Wiederkehrzeit ("recurrence time interval") von zwei Dekaden bereitzustellen.

Nun verliert ein Doppelstern mit einer Umlaufperiode unterhalb der Periodenlücke nur durch Abstrahlen von Gravitationswellen Drehimpuls, was eine Akkretionsrate mehrere Größenordnungen unter dem zum Zünden eines Ausbruchs erforderlichen Wert bedingt.

Dieses Dilemma wurde von Knigge et al. (2000) gelöst, der erkannte, dass eine hohe Akkretionsrate durch eine "heiße Quelle" ("hot source") auf dem Weißen Zwerg hervorgerufen werden kann, indem diese den Begleiter anleuchtet (irradiating).

Schaefer et al. (2010a) erweiterten diese Idee. Danach bewirkte der klassische Novaausbruch von 1866 eine deutlich erhöhte Akkretionsrate, welche eine

größtenteils sich selbst erhaltende "supersoft source" (Superweiche Röntgenquelle) mit nuklearem Brennen auf der Oberfläche des Weißen Zwergs antreibt. Dieser Mechanismus ist nur bei Doppelsternen möglich, die neben einer kurzen Umlaufperiode über ein bedeutendes Magnetfeld verfügen, welches das einfallende Material kanalisiert und auf ein kleines Gebiet lenkt. Die langfristige Abnahme der Helligkeit zeigt aber, dass die Lebensdauer der "supersoft source" begrenzt ist.

### **Die V1500-Cygni-Sterne**

Schaefer & Collazzi (2010) verallgemeinerten diese Situation zu einer ganzen Klasse von Sternen, den sogenannten "V1500-Cygni-Sternen", welche dieselbe langfristige Helligkeitsabnahme aufweisen und ebenso kurze Umlaufperioden und hochgradig magnetisierte Weiße Zwerge zeigen. Damit ergibt sich folgendes aktuelle Bild von T Pyx:

T Pyx begann sein Veränderlichendasein als gewöhnlicher CV mit langer Ruheperiode. Ein gewöhnlicher Novaausbruch in 1866 zündete dann eine "supersoft X-ray source", deren Beleuchtung des sehr nahen Begleitsterns zu einer hohen Akkretionsrate führt und dadurch rekurrente Novaausbrüche bewirkt. Im Verlauf der Zeit sinkt die Akkretionsrate, und die Ruhelihelligkeit nimmt ab.

### **Sind rekurrente Novae die Vorläufer von Supernovae des Typs Ia?**

Die bei weitem wichtigste Frage ist, ob RN die Vorläufer von Supernovae des Typs Ia sind. RN gelten hierfür als die besten Vorläuferkandidaten, da sie mit Sicherheit Weiße Zwerge mit Massen nahe der Chandrasekhar-Masse besitzen und weil diese mit einer sehr hohen Akkretionsrate gespeist werden. Dennoch können T Pyx (und alle anderen kurzperiodischen RN) aber nicht Vorgänger von Typ-Ia-SN sein.

Der Grund hierfür ist, dass der gewöhnliche Novaausbruch in 1866 mit Leichtigkeit die Entwicklung des Systems bestimmt. Gewöhnliche Novaausbrüche stoßen viel mehr Masse aus, als durch den Weißen Zwerg aufgenommen wird. Somit verliert der Weiße Zwerg Masse statt zuzunehmen. Und damit ist ihm die Entwicklung zu einer SN verwehrt.

Dies kann auch wie folgt formuliert werden: die langfristige Helligkeitsabnahme zeigt, dass die Zwischenzeit, während der T Pyx eine RN ist, nur kurz (vielleicht weniger als zwei Jahrhunderte) währt. Diese Entwicklungsphase hat allerdings nur geringen Einfluss, selbst wenn jedes RN-Ereignis zu einem Netto-Gewinn an Masse auf dem Weißen Zwerg führt.

Die langperiodischen RN bleiben dagegen starke Vorläufer-Kandidaten (als Folge der hohen Akkretionsrate, die hier durch die Entwicklung des Gebersterns getrieben wird). Die kurzperiodischen RN aber können ihre zeitweise hohe Akkretionsrate nicht aufrecht erhalten. Und somit sind sie keine Vorläufer für Supernovae.

### **Die Vorhersage des Ausbruchs von T Pyx**

Die langfristige Helligkeitsabnahme ist bedeutsam für das Verständnis der Zeitpunkte, zu denen sich RN-Ereignisse ereignen. Schaefer (2005) zeigte, dass die Intervalle zwischen den Ausbrüchen bei im Mittel schwacher Ruhelihelligkeit lang sind,

während ein im Mittel helles Ruhelicht zu einer kurzen Zeit zwischen den Ausbrüchen führt.

Die dahinter stehende Physik ist einfach: Der Betrag an akkretierter Masse, erforderlich zum Zünden eines Ausbruchs, ist für jede RN konstant. Die Akkretionsrate lässt sich aus der B-Helligkeit ableiten, den die Akkretionsscheibe dominiert. Eine große Helligkeit der Scheibe führt zu einer hohen Akkretionsrate und kurzen Zeitintervallen, bis zum Erreichen der erforderlichen Masse für einen Ausbruch.

Eine Kalibrierung mit früheren Zeitintervallen zwischen den Ausbrüchen ermöglicht die ungefähre Vorhersage zukünftiger Ausbrüche. Schaefer (2005) sagte so voraus, die Nova U Sco würde in  $2009.3 \pm 1.0$  ausbrechen. Dieses Ergebnis ermöglichte es, den tatsächlich in 2010.1 erfolgten Ausbruch mit einer unglaublich guten beobachterischen Abdeckung zu dokumentieren. Dieser Ausbruch ist der beste jemals beobachtete Novaausbruch (Schaefer et al. 2010b).

Schaefer (2005) sagten auch den nächsten Ausbruch von T Pyx voraus, der in 2052  $\pm 3$  erfolgen sollte. Eine in Schaefer et al. (2010a) erweiterte Vorhersage ergab für das Eintreten dieses Ereignisses die Zeit nach dem Jahr 2225 an. Und diese Vorhersage ging voll daneben ("horribly wrong"). Denn T Pyx brach bereits 2011 aus.

### **Wie ging es weiter?**

Es interessiert nun zu erfahren, was wirklich passierte, wie der Ausbruch von T Pyx entdeckt und beobachtet wurde, und zu verstehen, warum die Vorhersage falsch war ("went wrong"). Das bleibt einer Fortsetzung dieses Aufsatzes vorbehalten.

### **Literaturverzeichnis**

- [1] Schaefer, B., et al., 2011. The 2011 Eruption of the Recurrent Nova T Pyxidis; the Discovery, the Pre-eruption Rise, the Pre-eruption Orbital Period, and the Reason for the Long Delay, arXiv:1109.0065v1
- [2] Lange, T., 2011. Kataklysmische Sterne: Aktivitäten zwischen Februar und April 2011, RB 2011-2, S. 145
- [3] Uthas, H., et al., 2010. The orbital period and system parameters of the recurrent nova T Pyx, arXiv:1005.5166v1
- [4] Schaefer, B., et al., 2009. The Nova Shell and Evolution of the Recurrent Nova T Pyxidis, arXiv:0906.0933v2
- [5] Shore, S. N., et al., 2011. The spectroscopic evolution of the recurrent nova T Pyxidis during its 2011 outburst I. The optically thick phase and the origin of moving lines in novae, arXiv:1108.3505v1

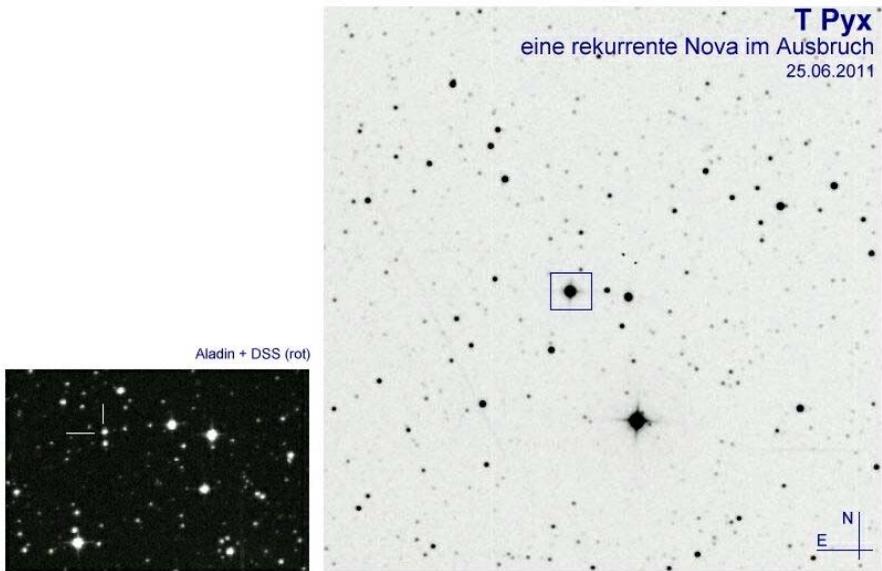


Abb. 1: Montage aus eigener Aufnahme am 25.06.2011 (IAS-Sternwarte Hakos in Namibia, 50-cm-Cassegrain  $f = 4.500$  mm, STL-1001E, Klarglasfilter, 10 s , Binning 2) und einem Screenshot aus Aladin mit rotem DSS-Hintergrundbild

Hans-Günter Diederich  
Insel Str. 16  
64287 Darmstadt

[hansguenterdiederich@t-online.de](mailto:hansguenterdiederich@t-online.de)